

(51) Int.Cl.⁸

G 1 1 B 20/10

識別記号

3 2 1

F I

G 1 1 B 20/10

3 2 1 A

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号

特願平8-259866

(22) 出願日

平成 8 年(1996) 9 月30日

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 岡本 豊

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝研究開発センター内

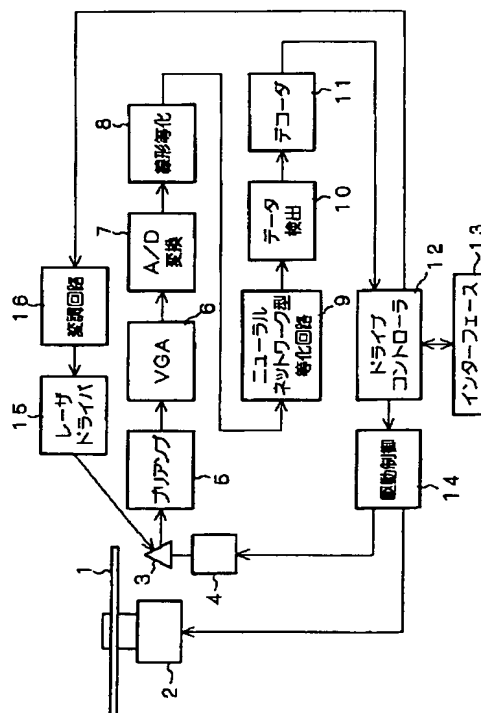
(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

(54) 【発明の名称】 ディスク記憶装置及び同装置に適用する波形等化回路

(57) 【要約】

【課題】 ディスクからデータを再生する再生処理系において、線形に等化されるべき成分と非線形歪みとが混在する再生信号波形に対して、結果的に線形的等化処理を確実に実現できると共に、非線形歪み成分の影響を除去してデータ検出誤り率を許容範囲内にすることにある。

【解決手段】 データの高記録密度化に伴ってデータの再生動作時に、線形に等化されるべき成分と非線形歪みとが混在する再生信号波形に対して、データ検出処理に最適な等化処理を行なう手段を備えたディスク記憶装置である。本発明の等化手段は、再生信号波形に対して線形的波形等化処理を行なうための線形等化回路8と、再生信号波形の非線形歪み成分を除去するための非線形等化処理を実行するニューラルネットワーク型の非線形等化回路9とを有するいわば複合型等化手段である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ディスクから読出した再生信号からデータを検出して復号化するディスク記憶装置であって、前記再生信号波形を所定のクロック周期でサンプリングしてデジタル信号に変換するA/D変換手段と、前記A/D変換手段により変換されたデジタル信号を入力して、等化目標波形の振幅値との2乗平均誤差が最小となるような線形的波形等化処理を実行する線形等化手段と、

前記線形等化手段により線形等化されたデジタル信号波形のサンプル値を入力し、ニューラルネットワーク型の非線形等化処理を実行する非線形等化手段とを具備したことを特徴とするディスク記憶装置。

【請求項2】 ディスクから読出した再生信号からデータを検出して復号化するディスク記憶装置に適用し、前記再生信号波形に対応するデジタル信号波形をデータ検出動作に最適な波形に等化する波形等化回路であって、

前記デジタル信号波形に対して、等化目標波形の振幅値との2乗平均誤差が最小となるような線形的波形等化処理を実行する線形等化手段と、

前記線形等化手段により線形等化されたデジタル信号波形のサンプル値を入力し、ニューラルネットワーク型の非線形等化処理を実行する非線形等化手段とを具備したことを特徴とする波形等化回路。

【請求項3】 前記非線形等化手段は、データクロック周期の遅延時間を有する直列に接続された複数の遅延素子と、複数の中間ノードと、出力ノードとから構成される3層パーセプトロン型ニューラルネットワーク構成であって、前記各中間ノードの入力は先頭の遅延素子の入力および各遅延素子の出力にそれぞれ結合重み付けの値を乗算したものであり、前記各中間ノードの出力は入力の総和に対する非線形な関数の出力値であり、前記出力ノードの入力は前記各中間ノードの出力にそれぞれ結合重み付けの値を乗算したものであり、前記出力ノードの出力は出力ノードの入力の総和、または出力ノードの入力の総和に対する非線形な関数の出力値であるように構成されたことを特徴とする請求項1記載のディスク記憶装置または請求項2記載の波形等化回路。

【請求項4】 前記非線形等化手段は、遅延線からなる入力層と、中間層ノードと、出力ノードとを有する3層パーセプトロン型ニューラルネットワーク構成であって、

前記入力層と前記中間層ノード間、及び前記中間層ノードと前記出力ノード間の結合の重み付けの値が、前記線形等化手段により等化された信号波形サンプルを入力したときに等化目標波形を出力するような学習アルゴリズムにより学習した結果に相当する値であることを特徴とする請求項1記載のディスク記憶装置または請求項2記

載の波形等化回路。

【請求項5】 前記線形等化手段は、データクロック周期の遅延時間を有する直列に接続された複数の遅延素子と、前記各遅延素子の出力に係数をかける乗算器と、前記各乗算器の出力を加算する加算器とから構成されるトランスバーサル・フィルタであって、その係数は再生波形を入力した場合に最終等化目標が得られるように、最小2乗平均アルゴリズムにより求められた値であることを特徴とする請求項1記載のディスク記憶装置または請求項2記載の波形等化回路。

【請求項6】 前記再生信号波形の等化目標サンプル値を生成する手段と、前記線形等化手段の出力と前記等化目標サンプル値との誤差を求める手段と、更新特性を制御する更新制御係数を生成する手段と、前記線形等化手段にタップ係数の初期値を与える手段と、

前記線形等化手段のタップ係数値と、前記誤差と、前記更新制御係数と、現在のタップ係数とに基づいて前記線形等化手段の新たなタップ係数を生成する手段と、タップ係数を更新するための更新機能を有効または無効にする制御手段とを具備し、

前記等化目標サンプル値を生成するためのサンプル値系列に対応する再生信号波形系列の再生時に前記制御手段が前記更新機能を有効とし、タップ係数の初期値を設定した後に前記新たなタップ係数に変更し、

前記再生信号波形系列の再生終了時点で前記制御手段が前記更新機能を無効とし、以後その時点のタップ係数を使用して前記線形等化手段が波形等化処理を実行することを特徴とする請求項1記載のディスク記憶装置または請求項2記載の波形等化回路。

【請求項7】 前記再生信号波形の等化目標サンプル値を生成する手段と、

前記非線形等化手段の出力と前記等化目標サンプル値との誤差を求める手段と、

前記非線形等化手段にタップ係数の初期値を与える手段と、

前記非線形等化手段のタップ入力値と、前記誤差と、前記非線形等化手段を構成する中間ノードの入力の総和と、前記中間ノードの出力と、現在の結合の重み付けの値とに基づいて前記非線形等化手段の新たな結合の重み付けの値を生成する手段と、結合の重み付けの値の更新機能を有効または無効にする制御手段とを具備し、

前記等化目標サンプル値を生成するためのサンプル値系列に対応する再生信号波形系列の再生時に前記制御手段が前記更新機能を有効とし、結合の重み付けの値の初期値を設定した後に前記新たな結合の重み付けの値に変更し、

前記再生信号波形系列の再生終了時点で前記制御手段が前記更新機能を無効とし、以後その時点の結合の重み付けの値を使用して前記非線形等化手段が波形等化処理を実行することを特徴とする請求項3記載のディスク記憶装置または波形等化回路。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、記録媒体としてディスクを使用し、光学的、磁氣的または光磁氣的なデータの記録再生を行なうディスク記憶装置に関し、特にデータ再生動作に使用する波形等化回路に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、光学的に情報を記録再生する光ディスク装置、磁氣的に情報を記録再生する磁気ディスク装置、および光磁氣的に情報を記録再生する光磁気ディスク装置などのディスク記憶装置では、記録媒体であるディスク上に情報を記録するための記録形態（光学的、磁氣的または光磁氣的形態）は異なるが、記録再生信号処理系は基本的には共通の構成要素からなる。特に、再生処理系はいずれの装置でも大別して、ディスクからヘッド（磁気ヘッドや光ピックアップ）により読出された再生信号をプリアンプにより増幅する処理と、波形等化回路により再生信号波形を波形等化する処理と、等化された再生信号波形から2値化データを検出するデータ検出処理（データ識別処理）と、デコードによる復号化処理とからなる。

【0003】このようなディスク記憶装置において、特に高記録密度化を図るために、再生処理系には、PRML (Partial Response Maximum Likelihood) 方式の信号処理技術が採用されつつある。PRML方式は、離散時間サンプル点間の信号波形の相関を利用してデータを検出する方式であり、波形等化回路の入力側またはデータ検出回路（ビタビデコード）の入力側で再生信号を離散時間によりサンプリングする。また、再生信号の振幅値をA/D変換処理により量子化し、以後デジタル系で処理することが多い。

【0004】ところで、波形等化回路は、ディスク上にデータを記録するときに記録処理系（記録チャンネル）の特性を起因として発生する再生信号波形の歪みを補正し、データ検出処理における検出誤り率を許容範囲内に治めるために使用される。波形等化回路の構成要素としては、従来のアナログフィルタ以外に、信号処理のデジタル化に伴って、ディスク上の記録位置（トラック位置）などに依存する記録チャンネルの特性変化に適応的に追従する適応型デジタルフィルタが採用されることが多い。基本的には、記録再生チャンネルを線形系にモデル化して、再生信号の線形的な歪みを補正する構成からなる。

【0005】近年、ディスク記憶装置では、記憶容量の

大容量化を図るために、例えばハードディスク装置においては数Gビット/平方インチのような高記録密度化が実現されている。このような高記録密度では、従来の記録チャンネルの応答特性が、ディスク上に記録したバイナリ・データに対して線形的なモデルを設定することは不可能であり、非線形的要素を考慮する必要がある。しかし、再生信号波形に非線形的な歪みの割合が大きくなると、線形的等化回路では等化残留誤差が増大し、データ検出処理において許容範囲内のデータ検出誤り率を確保することは困難となる。

【0006】再生信号波形の非線形的な歪みを等化する回路としては、例えばディジション・フィードバック型の等化回路が周知である。しかし、この等化回路は後段の判定値を帰還させる方式であるため、誤り伝播率が大きい場合にデータの確実性を確保することが困難である。また、多層 (multilayer) パーセプトロン (perceptron) 型 (以下MLPと略す) のニューラルネットワーク構成の非線形等化回路 (以下MLP等化回路と称する) が開発されている。これに関する文献としては、「Nonlinear Equalization for Data Storage Channels, by Saththarathan K Nair and Jaekyun Moon, Proceedings of IEEE Int'l. Conf. Comm, New Orleans, Louisiana, USA, May 1994」がある。

【0007】このMLP等化回路は最も単純な構成としては3層構造のものがあり、第1層目の入力層がデータクロック周期の遅延時間を有する直列に接続された複数の遅延素子を有する。第2層目に位置する複数の中間ノードは、各々先頭の遅延素子の入力および各遅延素子の出力にそれぞれ結合重み付けの値に乗算したものを入力し、その入力の総和に対して非線形な関数の出力値を出力する。さらに、第3層目の出力ノードは、その入力が入力層の出力にそれぞれ結合重み付けの値を乗算したものであり、その出力が入力の総和または入力の総和に対する非線形な関係の出力値となる。ここで、入力層および各ノード間の結合重み付けの値は、誤差逆伝播 (back propagation) アルゴリズムと称する算出方法により求められる。この誤差逆伝播アルゴリズムに関する文献としては、「Learning internal representations by error propagation, Parallel Distributed Processing: Explorations in Microstructure of Cognition, by Rumelhart, PP. 318-362, MIT Press, Cambridge, MA, 1986」がある。また、Moon他による次の文献「Simplified Nonlinear Equalizers,

IEEE Trans. Magn., Vol 31, No. 6, November 1995」には、MLP等化器が、非線形の歪み成分の等化に効果的であることが記載されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】前述したように、ディスク記憶装置では高記録密度化に伴って、ディスクからデータを再生するときの再生信号波形に含まれる歪み成分に占める非線形的な歪み成分が無視できない程度まで増大している。このため、非線形的な歪み成分を除去するための非線形等化処理の必要性が大きくなっているが、一方で再生信号波形の線形的な歪み成分に対して等化を行なう必要性は依然として重要である。

【0009】従って、高記録密度化に伴って、データ再生動作では再生信号波形の線形及び非線形の各歪み成分を等化する処理が必要になっている。前述のMLP等化回路は学習機能により線形的な等化処理が可能であるが、非線形等化処理の有効性と回路の複雑性から判断すると、従来の線形等化回路の方が格段に効率がよい。実際に、3層のMLP等化回路のみで、線形な等化を必要とする波形成分と非線形な歪み成分を併せ持つ再生信号波形を等化した場合に、下記のように非線形等化処理の性能も不十分になる結果を招くことになる。

【0010】図9～図11は線形及び非線形等化処理のシミュレーションによる評価結果を示すものである。図9(A)の入力波形は、(2, 7) RLL符号で変調した信号を、NRZI形式で光ディスクに高記録密度で記録した場合の再生信号波形であり、非線形な歪み成分は含まない合成波形である。図9(B)は同図(A)の波形を時間軸方向に圧縮して表示させたものである。図9(C)と図10(A)は、図9(A)と同じ記録密度の再生信号であるが、非線形な歪み成分を含む合成波形である。図10(B)は、図9(B)の非線形な歪み成分は含まない波形を、30タップのFIR型線形等化器によりPR1221方式の波形に等化した結果である。PR1221とは、PR(パーシャル・レスポンス)信号処理方式における等化方式の1つで、孤立応答波形が

「0, 1, 2, 2, 1, 0」という値が得られるように等化するものである。理想的なPR1221波形に等化された場合の信号は、図11(A), (B)に示すものである。

【0011】図10(C)は、非線形な歪み成分を含む同図(A)の波形を同じ30タップのFIR型線形等化器によりPR1221方式の波形に等化した結果である。非線形歪みの影響が等化誤差として大きく現われている。図10(D)は、同じく非線形な歪み成分を含む同図(A)の波形をMLP等化回路により等化した結果である。図からも差が読み取れるが、2乗平均誤差を計算すると、MLP等化回路で等化した図10(D)の波形の方が、FIR型線形等化回路で等化した図10

(C)よりは等化誤差が少なくなっている。しかしながら、図10(B)の波形には程遠く、MLP等化回路の非線形等化の能力が十分に発揮されていないことがわかる。

【0012】このようなことから、非線形な歪みに対する等化には大きな効果を発揮することが示されているMLP等化回路であっても、理想等化目標値とのずれの原因が、線形的な隣接波形の重畳と非線形な歪み成分との複合要因である場合には、ニューラルネットワークの学習機能が有効に働かず、その能力が十分発揮できない場合がある。

【0013】そこで、本発明の目的は、ディスクからデータを再生する再生処理系において、線形に等化されるべき成分と非線形歪みとが混在する再生信号波形に対して、結果的に線形的等化処理を確実に実現できると共に、非線形歪み成分の影響を除去してデータ検出誤り率を許容範囲内にすることにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明は、例えば光ディスク装置に適用し、データの高記録密度化に伴ってデータの再生動作時に、線形に等化されるべき成分と非線形歪みとが混在する再生信号波形に対して、データ検出処理に最適な等化処理を行なう手段を備えたディスク記憶装置である。本発明の等化手段は、再生信号波形に対して線形的波形等化処理を行なうための線形等化手段と、再生信号波形の非線形歪み成分を除去するための非線形等化処理を実行するニューラルネットワーク型の非線形等化手段とを有するいわば複合型等化手段である。

【0015】線形等化手段は、A/D変換手段によりデジタル信号に変換された再生信号波形を入力して、等化目標波形の振幅値との2乗平均誤差が最小となるような線形的波形等化処理を実行する。非線形等化手段は、線形等化手段により線形等化されたデジタル信号波形のサンプル値を入力し、ニューラルネットワーク型の非線形等化処理を実行する。このような構成により、線形的な歪み成分に対して効果的な等化処理を実行すると共に、ニューラルネットワーク型の非線形等化手段の能力を十分に活用して、非線形歪み成分を効果的に除去できる非線形等化処理を実現することができる。

【0016】ニューラルネットワーク型の非線形等化手段の前段には、従来の線形等化手段を配置して、例えば光ピックアップなどのヘッドからの再生信号を、線形等化手段により識別点電圧の等化誤差が最小になるように等化する。次段のニューラルネットワーク型の非線形等化手段の結合重み付けの値は、線形等化手段の出力信号の識別点電圧が理想等化波形の値になるように、所定の学習アルゴリズムにより決定される。即ち、ニューラルネットワーク型等化手段の学習効果を高めて、非線形成分の抑圧効果を十分に発揮させる。

【0017】このような本発明を具体的に例えば光ディ

スク装置のデータ再生系に適用した場合に、光ピックアップによりディスクから読出した再生信号を増幅するブリアンプと、この再生信号をデータ・クロック周期でサンプリングするA/D変換手段と、A/D変換手段により変換されたデジタル信号の再生信号波形を線形等化する線形等化手段と、多層パーセプトロン(perceptron)型のニューラルネットワーク構成の非線形等化手段と、等化された再生信号波形からデータを検出するデータ検出手段とを有するデータ再生装置となる。線形等化手段は前記のように線形的な演算操作により、等化目標波形の振幅値との2乗平均誤差が最小となるような波形等化処理を実行する。非線形等化手段は、線形等化された再生信号波形のサンプル値を入力し、ニューラルネットワーク構成の非線形的な演算操作により等化された再生信号波形をデータ検出手段に出力する。

【0018】また、非線形等化手段は、データクロック周期の遅延時間を有する直列に接続された複数の遅延素子と、複数の中間ノードと、1個の出力ノードとを有する例えば3層パーセプトロン型の非線形等化回路である。各中間ノードの入力は、先頭の遅延素子の入力および各遅延素子の出力にそれぞれ結合重み付けの値を乗算したものであり、各中間ノードの出力は、入力の総和に対する非線形な関数の出力値である。出力ノードは、その入力側に中間ノードの出力にそれぞれ結合重み付けの値を乗算したものが入力されて、出力側が入力の総和または入力の総和に対する非線形な関数の出力値を出力する。

【0019】さらに、非線形等化手段において、遅延線からなる入力層と中間層のノード間および、中間層と出力ノード間の結合の重み付けの値は、線形等化手段により等化された波形サンプル値を入力した場合に、等化目標波形を出力するように学習アルゴリズムにより学習した結果に相当する値である。一方、線形等化手段は、データクロック周期の遅延時間を有する直列に接続された複数の遅延素子と、遅延素子の各出力に係数をかける乗算器と、これら乗算器の出力を加算する加算器とを備えたトランスバーサル・フィルタである。遅延素子の各出力にかかる係数は、再生波形を入力した場合に最終等化目標が得られるように最小2乗平均アルゴリズムにより求められた値である。

【0020】さらに、本発明の応用形態として、再生信号波形の等化目標サンプル値を生成する手段と、線形等化手段の出力と等化目標サンプル値との誤差を求める手段と、更新特性を制御する更新制御係数を生成する手段と、線形等化手段にタップ係数の初期値を与える手段と、線形等化手段のタップ係数値と、前記誤差と、更新制御係数と、現在のタップ係数とに基づいて線形等化手段の新たなタップ係数を生成する手段と、タップ係数を更新するための更新機能を有効または無効にする制御手段とを具備し、等化目標サンプル値を生成するためのサ

ンプル値系列に対応する再生信号波形系列の再生時に制御手段が更新機能を有効とし、タップ係数の初期値を設定した後に新たなタップ係数に変更し、再生信号波形系列の再生終了時点で制御手段が更新機能を無効とし、以後その時点のタップ係数を使用して線形等化手段が波形等化処理を実行するように構成されたデータ再生装置を提供することができる。

【0021】他の応用形態として、再生信号波形の等化目標サンプル値を生成する手段と、非線形等化手段の出力と等化目標サンプル値との誤差を求める手段と、非線形等化手段にタップ係数の初期値を与える手段と、非線形等化手段のタップ入力値と、前記誤差と、非線形等化手段を構成する中間ノードの入力の総和と、中間ノードの出力と、現在の結合の重み付けの値とに基づいて非線形等化手段の新たな結合の重み付けの値を生成する手段と、結合の重み付けの値の更新機能を有効または無効にする制御手段とを具備し、等化目標サンプル値を生成するためのサンプル値系列に対応する再生信号波形系列の再生時に制御手段が更新機能を有効とし、結合の重み付けの値の初期値を設定した後に新たな結合の重み付けの値に変更し、再生信号波形系列の再生終了時点で制御手段が更新機能を無効とし、以後その時点の結合の重み付けの値を使用して非線形等化手段が波形等化処理を実行するように構成されたデータ再生装置を提供することができる。

【0022】

【発明の実施の形態】以下図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。

【0023】図1は本実施形態に関する光ディスク装置の要部を示すブロック図であり、図2は本実施形態に関する線形等化回路の構成を示すブロック図であり、図3は本実施形態に関するニューラルネットワーク型構成の非線形等化回路の構成を示すブロック図である。

【0024】(装置の構成)本実施形態はディスク記憶装置として、記録再生型の光ディスク装置に適用することを想定している。光ディスク装置は、図1に示すように、記録媒体である書換え可能な光ディスク1と、光ピックアップ3と、データ再生系と、データ記録系と、ドライブコントローラ12と、インターフェース13とを有する。光ディスク1はスピンドルモータ2により回転駆動している。光ピックアップ3はサーボモータ4により移動調整されて、レーザドライバ15による駆動で光ディスク1にレーザ光を照射し、光学的に情報の記録再生を行なう。スピンドルモータ2とサーボモータ4は、ドライブコントローラ12により駆動制御回路14を介して駆動制御される。

【0025】データ記録系はレーザドライバ15および変調回路16を有する。変調回路16は、ドライブコントローラ12から送出された記録データを所定の符号ビット列に変換する符号化処理を実行する。レーザドライ

バ15は、変調回路16から出力された符号ビット列に従ったマークをディスク1上に記録するように光ピックアップ3を駆動する。

【0026】データ再生系は、プリアンプ5と、可変利得増幅器(VGA)6と、A/D変換回路7と、線形等化回路8と、ニューラルネットワーク型構成の非線形等化回路9と、データ検出回路10と、デコーダ11とを有する。プリアンプ5とVGA6は光ピックアップ3により読出された再生信号を増幅する。A/D変換回路7は増幅された再生信号を離散時間の量子化サンプル値であるデジタル信号に変換する。線形等化回路8は離散時間系の線形等化器からなり、図2に示すように、トランスバースフィルタと称するデジタルフィルタの一種である。なお、データ再生系がA/D変換回路7のないアナログ系の場合には、線形等化回路8は連続時間系のアナログ線形等化器となる。

【0027】ニューラルネットワーク型構成の非線形等化回路(以下非線形等化回路と省略する)9は、線形等化された再生信号波形から非線形歪み成分を除去するための等化器であり、図3に示すように、3層のパーセプトロン(perceptron)型の非線形等化回路である。データ検出回路10は、例えばPR(パルシャル・レスポンス)等化した再生信号波形からデータを検出する最尤系列推定方式の信号処理回路であり、具体的にはビタビ(viterbi)デコーダからなる。デコーダ11は、データ検出回路10により検出された符号ビット列を元のデータ(記録データ)に復元する。

【0028】ドライブコントローラ12は、装置のメイ

$$W_{j, k+1} = W_{j, k} + \mu S_{j, k} (C_k - \sum_j S_{j, k} \cdot W_{j, k}) \cdots (1)$$

の式により求められる。 μ はステップサイズパラメータである。繰り返し回数を十分長くすることでタップ係数を収束させることができる。

【0031】(非線形等化回路の構成)非線形等化回路9は、図3に示すように、直列接続の複数の遅延回路20と、乗算回路21と、中間ノード31と、出力ノード30とからなる3層パーセプトロン型のニューラルネットワーク構成である。

【0032】即ち、線形等化回路8の出力である入力信号サンプル値 Z_k は、1データ・サンプリング・クロック時間遅延量を有する遅延回路20により遅延されて、※

$$H_j = f(\sum_i W_{i, j} \cdot Z_{k-i}) \cdots (2)$$

$$f(x) = (1 - \exp(-x)) / (1 + \exp(-x)) \cdots (3)$$

の式が成立する。

【0034】 $j+1$ 番目の中間ノード31の出力は、乗算回路21により結合の重み付けの値 W_j が掛けられて、出力ノード30の入力となる。出力ノード30は、時刻 k における入力総和となる出力値 d_k を出力する。この出力 d_k は、

$$d_k = \sum_j W_j (\sum_i W_{i, j} \cdot Z_{k-i}) \cdots (4)$$

*ン制御装置であり、インターフェース13を介して例えばパーソナルコンピュータやテレビジョン受信機と接続し、記録再生データの転送制御を実行する。なお、本装置には、図示しないが映像情報の記録再生動作に必要な動画圧縮回路、動画伸長回路、および復調回路10により復調されたデータの誤り検出訂正処理を行なう誤り検出訂正回路も含まれている。

【0029】(線形等化回路の構成)線形等化回路8は、図2に示すように、直列接続の複数の遅延回路20と、各遅延回路20の入力信号(信号サンプル値 $S_{n, k}$)にタップ係数 W_n (ゲイン)を乗算する乗算回路21と、各乗算回路21の出力を加算する加算回路22とからなる。各遅延回路20は1データ・サンプリング・クロック時間の遅延量を有し、入力された信号サンプル値(A/D変換回路7の出力)を遅延し、次段の遅延回路20に出力する。各乗算回路21は、時刻 k での遅延回路20の入力信号 $S_{n, k}$ にタップ係数 W_n を乗算して加算回路22に出力する。即ち、時刻 k における j 番目の遅延回路20の出力 $S_{j, k}$ は、タップ係数 W_j が掛けられて加算回路22により加算されて、時刻 k における線形等化回路8の出力 y_k となる。

【0030】タップ係数 W_j は、以下のような最小2乗平均(LMS)アルゴリズムにより決定する。ここで、時刻 k における j 番目のタップ係数を $W_{j, k}$ 、時刻 k における入力サンプル値系列に対する所望の応答を C_k とすると、時刻 $k+1$ における j 番目のタップ係数 $W_{j, k+1}$ は、

※次段の遅延回路20に出力される。ここで、時刻 k における j 番目の遅延回路20の出力信号サンプル値 Z_{k-j} は、乗算回路21により結合の重み付けの値 $W_{i, j}$ が掛けられて、 $j+1$ 番目の中間ノード31の入力となる。最初の入力信号サンプル値 Z_k は、乗算回路21により結合の重み付けの値 $W_{0, 0}$ が掛けられて、1番目の中間ノード31の入力の1つとなる。

【0033】 $j+1$ 番目の中間ノード31の出力 H_j は、入力の総和をシグモイド関数 f で評価した値になる。即ち、

となる。

【0035】結合の重み付けの値は、以下のような誤差逆伝播アルゴリズムに従って、学習手順を繰り返すことにより求められる。

【0036】即ち、まず全ての結合の重み付けの値には、初期値としてランダムな小さな値を設定する。学習波形系列の k 番目が入力された時に期待される理想出力

を C_k とすると、出力ノード30の出力における誤差 δ_k は、

$$\delta_k = C_k - d_k \cdots (5)$$

となる。また、このときの $j+1$ 番目の中間ノード31*

$$\delta_{j,k} = \delta_k \cdot W_{i,k} \cdot f' \left(\sum_i W_{i,j} \cdot Z_{k-1} \right) \cdots (6)$$

ここで f' は f の導関数である。

【0038】学習波形系列の k 番目が入力された時の全

ての結合の重み付けの値 $W_{j,k}$ と $W_{i,j,k}$ は、以 ※

$$\delta W_{j,k} = \beta_k \cdot \delta_k \cdot f \left(\sum_i W_{i,j,k} \cdot Z_{k-1} \right) \cdots (7)$$

$$\delta W_{i,j,k} = \beta_k \cdot \delta_{j,k} \cdot Z_{k-1} \cdots (8)$$

$$W_{j,k+1} = W_{j,k} + \delta W_{j,k} + \eta \delta W_{j,k-1} \cdots (9)$$

$$W_{i,j,k+1} = W_{i,j,k} + \delta W_{i,j,k} + \eta \delta W_{i,j,k-1}$$

$$\cdots (10)$$

ここで、 β_k は学習係数であり、 η は慣性係数である。

【0040】（本実施形態の作用効果）以下図6～図8を参照して、線形等化回路8のタップ係数と非線形等化回路9の結合の重み付けの値を決定する手順を含めて、本実施形態の作用効果を具体的に説明する。

【0041】いま仮に、ディスク1から光ピックアップ3により読出した再生信号波形が、図6（A）に示すように、非線形な歪み成分を含む波形であると想定する。本実施形態では、線形等化回路8と非線形等化回路9とにより、最終的に図6（B）に示すように、PR1221方式の波形等化による理想的等化波形に近い再生信号波形が生成される。

【0042】ここで、PR1221方式の波形等化とは、データ“1”に対する応答再生孤立波の振幅が、図6（C）に示すように、データ・クロック・サンプル時間毎に、0, 1, 2, 2, 1, 0という値を取るような波形に等化することである。データが（2, 7）RLLコードで変調されてNRZI形式で記録される場合、図6（C）の波形がデータ“1”に対する応答であるとし、これが線形に重畳されるとすると、その結果の理想的な変調波形をデータ・クロックでサンプルした値は、0, 1, 3, 5, 6の5値だけをとる（図6（B）を参照）。

【0043】本実施形態では、線形等化回路8のタップ係数 W_n を決定するために、入力信号サンプル値系列 S_k として図6（A）に示すような非線形な歪み成分を含む再生信号波形を使用する。この入力信号サンプル値系列 S_k に対する所望の応答系列 C_k として、図6（B）に示すような理想等化波形を使用する。ここで、図8

（A）は、繰り返し回数をX軸として、その回数で得られるタップ係数で図6（A）に示す再生信号波形を等化した場合の10タップのFIR型線形等化器の出力と図6（B）に示す所望の応答系列 C_k との2乗平均誤差

（等化誤差）をY軸にとったグラフである。等化誤差のスケールの“1.0”は、PR1221方式の等化波形の応答値1が1.0となるように正規化されている。図7（D）は、10タップのFIR型線形等化器のタップ

*における誤差 $\delta_{j,k}$ は、逆伝播させることにより以下の式により求められる。

【0037】

※下のように更新される。

【0039】

係数が収束した後の等化器出力である。前述の図10

（C）に示した30タップのFIR型線形等化器の出力波形よりさらに、等化誤差量が大きく残っている。

【0044】一方、本実施形態では、非線形等化回路9の結合の重み付けの値 W_j を決定するために、学習波形系列 Z_k として、図7（D）に示すように、線形等化回路8の出力である再生信号波形を使用する。この再生信号波形は、理想等化波形との2乗平均誤差量が最小になるようにタップ係数を設定したが、等化誤差量が大きく残留した線形等化回路8の出力波形である。学習波形系列 Z_k が入力された時に期待される理想出力 C_k として、線形等化回路8の場合と同様に、図6（B）に示すような理想等化波形を使用する。ここで、図8（B）は、学習回数をX軸として、その回数で得られる結合の重み付けの値で図7（D）に示す再生信号波形を等化した場合の出力と図6（B）に示す所望の応答系列 C_k との2乗平均誤差（等化誤差）をY軸にとったグラフである。図7（E）は、結合の重み付けの値が収束した後の非線形等化回路9の出力である。図7（D）に示す線形等化回路8により線形等化された再生信号波形から、非線形等化回路9により非線形的な歪み成分が大幅に除去されて、ほぼ図6（B）に示す理想等化波形に近付いた再生信号波形になっている。この再生信号波形は、前述の10（B）に示すように、非線形歪み成分のない波形を線形等化した信号波形と同程度に等化されている。

【0045】以上のように本実施形態によれば、ディスク1から読出した再生信号波形に非線形的な歪み成分が含まれている場合に、線形等化回路8と非線形等化回路9とからなる複合等化回路により、データ検出処理に最適な線形等化と共に、非線形的な歪み成分を除去する非線形等化を実現することができる。換言すれば、非線形等化回路9を単独で使用した場合と比較して、線形な等化を必要とする波形成分と非線形な歪み成分を併せ持つ再生信号波形を等化した場合に、十分な線形等化効果と共に、十分な非線形等化効果を得ることができる。従って、特に高記録密度のディスク1から読出した再生信号波形から非線形な歪み成分を効果的に除去できるため、

結果的に線形的等化における等化残留誤差を低減し、データ検出処理において許容範囲内のデータ検出誤り率を確保することが可能となる。

【0046】(本実施形態の変形例1)図4は本実施形態の変形例を示す図であり、本実施形態の線形等化回路8のタップ係数を適応制御するための回路を付加した構成を示すものである。即ち、線形等化回路8のタップ係数を、ディスク1上の読出し位置(トラック位置)や光ピックアップ3の経時的な特性変化などにより、再生信号波形の設計値からのずれに適応させるための手段である。

【0047】通常では、適応型線形等化回路を使用するディスク記憶装置では、線形等化回路のタップ係数を設定するために、ディスク1上の特定位置にトレーニング・シーケンスと呼ばれる所定の信号波形パターンが記録される。本変形例の適応制御回路は、そのトレーニング・シーケンスに対応する再生信号に適応するタップ係数を算出して、初期値を更新する処理を実行する。

【0048】以下図4を参照して具体的に説明する。まず、更新制御回路40は制御線42を介して選択回路45を制御して、予めタップ係数の初期値を格納した初期値テーブル43からの出力を、データレジスタ44の入力となるように設定する。同時に、更新制御回路40は制御線41を介して初期値テーブル43を制御し、例えばその時点での光ピックアップ3の読出し位置に応じたタップ係数の初期値を出力させてレジスタ44にロードさせる。

【0049】次に、ディスク1からトレーニング・シーケンスに対応する再生信号が読出された時点で、更新制御回路40は選択回路45を制御して、加算回路46の出力をデータレジスタ44の入力となるように切替える。データレジスタ44はデータクロックに同期して、保持しているタップ係数の値を更新する。

【0050】ここで、減算回路50は、線形等化回路8の等化出力 y_k を、予めメモリ51に格納された等化目標サンプル値から減算して等化誤差を算出する。メモリ51はデータクロックに同期して等化目標サンプル値を出力する。この等化誤差値は、タップ係数を更新するための乗算回路48により、前述の(1)式の μ 値(メモリ49に保持)を乗算して乗算回路47に出力する。乗算回路47は、各タップにおける入力信号サンプル値系列 S_k ($S_{n,k}$)値を乗算し、この乗算結果を加算回路46に出力する。加算回路46は、その乗算結果に現在のタップ係数(初期値)を加算して出力する。従って、各レジスタ44には、初期値からトレーニング・シーケンスに基づいて更新されたタップ係数がロードされる。更新制御回路40は、トレーニング・シーケンスの再生動作が終了すると、各レジスタ44に保持されたタップ係数値をその時点での最新の値として維持させる。

【0051】以上のように本変形例1によれば、例えば

所定の期間経過毎にディスク1上にトレーニング・シーケンスを記録して、このトレーニング・シーケンスの再生動作に基づいて、前記のように、線形等化回路8のタップ係数を更新することにより、ディスク1上の読出し位置(トラック位置)や光ピックアップ3の経時的な特性変化に適応する最適のタップ係数を常に設定することが可能となる。これにより、線形等化回路8による最適な線形等化を常に行なうことができる。

【0052】(本実施形態の変形例2)図5は本実施形態の変形例において、ニューラルネットワーク型の非線形等化回路9の重み付けの値を適応制御するための回路を付加した構成を示すものである。前記の線形等化回路8のタップ係数の場合と同様に、ディスク1上の読出し位置(トラック位置)や光ピックアップ3の経時的な特性変化などにより、再生信号波形の設計値からのずれに適応させるための手段である。

【0053】なお、本変形例では、図5に示すように、非線形等化回路9の構成について、便宜的に遅延回路20の一端、中間ノード31の結合、及び中間ノード31と出力ノード30の結合部分のみを示し、他の構成要素については省略している。

【0054】以下図5を参照して具体的に説明する。本変形例においても、ディスク1上の特定位置にトレーニング・シーケンスと呼ばれる所定の信号波形パターンを記録して、そのトレーニング・シーケンスに対応する再生信号に適応する重み付けの値タップ係数を算出して、初期値を更新する処理を実行する。

【0055】まず、更新制御回路64は制御線91を介して更新回路60の選択回路75、86を制御して、予め結合の重み付けの値の初期値を格納した初期値テーブル66からの出力を、データレジスタ76、87の入力となるように設定する。同時に、更新制御回路64は制御線90を介して初期値テーブル66を制御し、例えばその時点での光ピックアップ3の読出し位置に応じた初期値を出力させてレジスタ76、87にロードさせる。

【0056】次に、ディスク1からトレーニング・シーケンスに対応する再生信号が読出された時点で、更新制御回路64は選択回路75、86を制御して、加算回路71、82の各出力をデータレジスタ76、87の各入力となるように切替える。データレジスタ76、87はデータクロックに同期して、保持している重み付けの値を更新する。

【0057】ここで、減算回路68は、非線形等化回路9の出力ノード30からの等化出力 d_k を、予めメモリ67に格納された等化目標サンプル値から減算して等化誤差 δ_k を算出する。メモリ67はデータクロックに同期して等化目標サンプル値を出力する。減算回路68は、算出した等化誤差 δ_k を、中間ノード31と出力ノード30の結合の重み付けの値を更新するため、乗算回路69、79に出力する。乗算回路69は、中間ノード

31の出力92を等化誤差 δ_k に乘算して乗算結果を乗算回路70に出力する。乗算回路70は、その乗算結果に前記(7)式の β_k の値(メモリ65に保持)を乗算して加算回路71に出力する。乗算回路70の出力は、前記(7)式の $\delta W_{j,k}$ であり、データクロックに同期してデータレジスタ72に格納される。

【0058】乗算回路73は、データレジスタ72の出力に、前記(9)式の η の値(メモリ65に保持)を乗算して加算回路74に出力する。加算回路74は、現在の中間ノード31と出力ノード30の結合の重み付けの値 $W_{j,k}$ と、乗算回路73の乗算結果とを加算して加算回路71に出力する。加算回路71は、乗算回路70の出力 $\delta W_{j,k}$ を加算して、中間ノード31と出力ノード30の結合の重み付けの更新値 $W_{j,k+1}$ (前記(9)式を参照)を算出する。選択回路75は、加算回路71の出力をレジスタ76に出力する。これにより、次のデータクロックで、レジスタ76は初期値からトレーニング・シーケンスに基づいて更新された更新値 $W_{j,k+1}$ がロードされる。

【0059】ここで、中間ノード31は、入力の前記(3)式の f 関数を実現する回路62に大別される。遅延回路20と中間ノード31との結合の重み付けの値を更新するため、加算回路63は更新回路60の前記(3)式の f 関数の導関数を実現する回路78に加算結果を出力する。乗算回路77は、レジスタ76の出力(初期値 $W_{j,k}$)と回路78の出力とを乗算して、乗算結果を乗算回路79に出力する。乗算回路79は、乗算回路77の乗算結果に等化誤差 δ_k を乗算して、前記(6)式の $\delta_{j,k}$ を算出する。

【0060】乗算回路80、81は、前記(8)式を実現するためのものであり、乗算回路81の出力として乗算結果 $\delta W_{i,j,k}$ を出力する。この乗算結果 $\delta W_{i,j,k}$ は、データクロックに同期してレジスタ83に格納される。さらに、乗算回路84は、レジスタ83の出力に前記(10)式 η の値(メモリ65に保持)を乗算して乗算結果を加算回路85に出力する。加算回路85は、レジスタ87の出力(初期値 $W_{i,j,k}$)と乗算回路84の乗算結果とを加算する。加算回路82は、乗算回路81の出力 $\delta W_{i,j,k}$ を加算して、前記(10)式により得られる遅延回路20と中間ノード31との結合の重み付けの更新値 $W_{i,j,k+1}$ を算出する。この更新値 $W_{i,j,k+1}$ が、選択回路86により選択されて、次のデータクロックに同期してデータレジスタ87にロードされる。

【0061】更新制御回路64は、トレーニング・シーケンスの再生動作が終了すると、各レジスタ76、87に保持された結合の重み付けの値をその時点での最新の値として維持させる。

【0062】以上のように本変形例2によれば、例えば

所定の期間経過毎にディスク1上にトレーニング・シーケンスを記録して、このトレーニング・シーケンスの再生動作に基づいて、前記のように、非線形等化回路9の重み付けの値を更新することにより、ディスク1上の読出し位置(トラック位置)や光ピックアップ3の経時的な特性変化に適応する最適の重み付けの値を常に設定することが可能となる。これにより、非線形等化回路9による最適な非線形等化を常に行なうことができる。

【0063】

- 10 【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば、例えば光ディスク装置などのディスク記憶装置において、高記録密度化に伴って線形に等化されるべき成分と非線形歪みとが混在する再生信号波形に対して、効果的な線形等化と共に、ニューラルネットワーク型の非線形等化回路による非線形歪み成分の影響を除去する非線形等化を有効に機能させることができる。従って、高記録密度化に伴った再生信号から許容範囲内のデータ検出誤り率でデータを再生することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

- 20 【図1】本発明の実施形態に係る光ディスク装置の要部を示すブロック図。

【図2】本実施形態に係る線形等化回路の構成を示すブロック図。

【図3】本実施形態に係るニューラルネットワーク型構成の非線形等化回路の構成を示すブロック図。

【図4】本実施形態の変形例1に係る線形等化回路の構成を示すブロック図。

【図5】本実施形態の変形例2に係る非線形等化回路の構成を示すブロック図。

- 30 【図6】本実施形態の作用効果を説明するための信号波形図。

【図7】本実施形態の作用効果を説明するための信号波形図。

【図8】本実施形態の作用効果を説明するための等化誤差量の特性図。

【図9】従来の波形等化处理を説明するための信号波形図。

【図10】従来の波形等化处理を説明するための信号波形図。

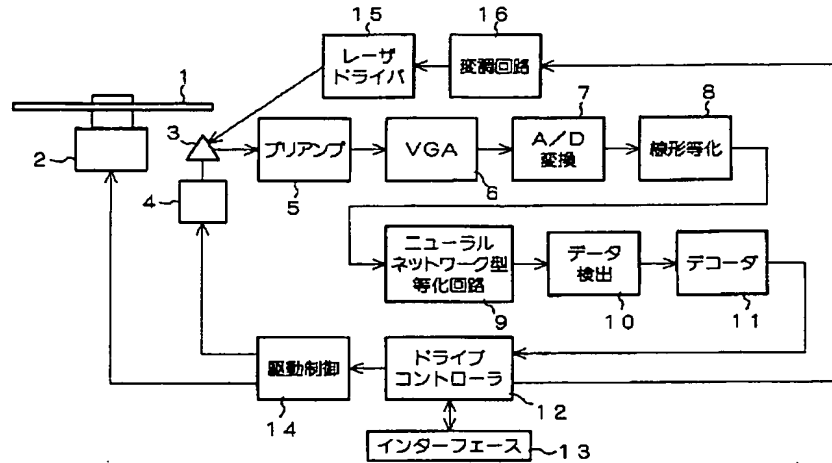
- 40 【図11】従来の波形等化处理を説明するための信号波形図。

【符号の説明】

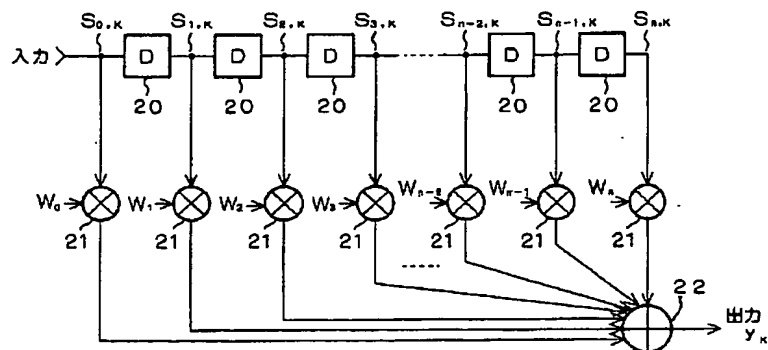
- 1…光ディスク
2…スピンドルモータ
3…光ピックアップ
4…サーボモータ
5…プリアンプ
6…可変利得増幅器(VGA)
7…A/D変換回路
50 8…線形等化回路

- | | |
|--------------------------|-----------|
| 9…ニューラルネットワーク型構成の非線形等化回路 | 1 6…変調回路 |
| 1 0…データ検出回路 | 2 0…遅延回路 |
| 1 1…デコーダ | 2 1…乗算回路 |
| 1 2…ドライブコントローラ | 2 2…加算回路 |
| 1 3…インターフェース | 3 0…出力ノード |
| 1 4…駆動制御回路 | 3 1…中間ノード |
| 1 5…レーザドライバ | |

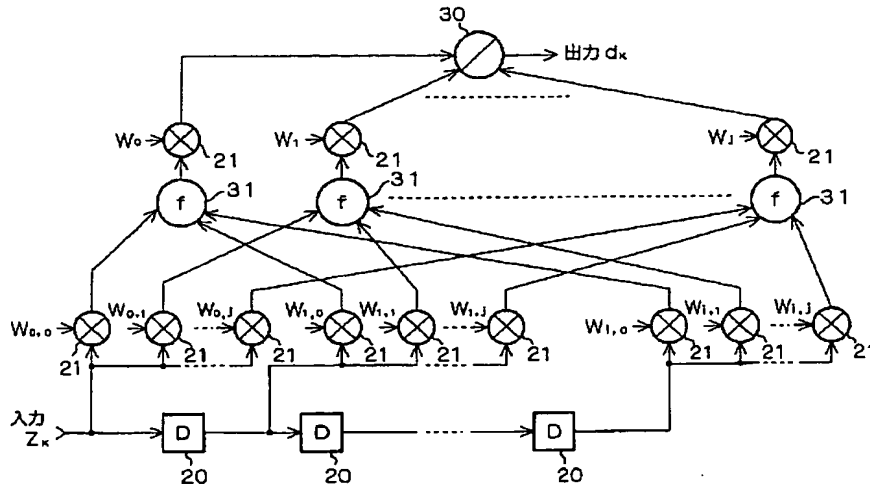
【図 1】



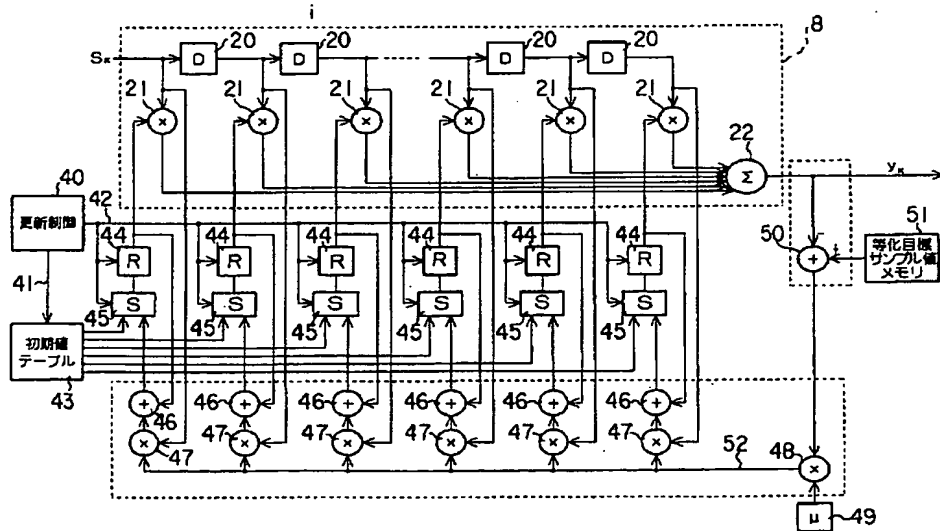
【圖 2】



【図3】



【図4】



(A)

Graph (A) shows a noisy horizontal line at a constant level over time. The vertical axis is labeled '電位' (Potential) and the horizontal axis is labeled '時間' (Time). The line is noisy and fluctuates around a constant value.

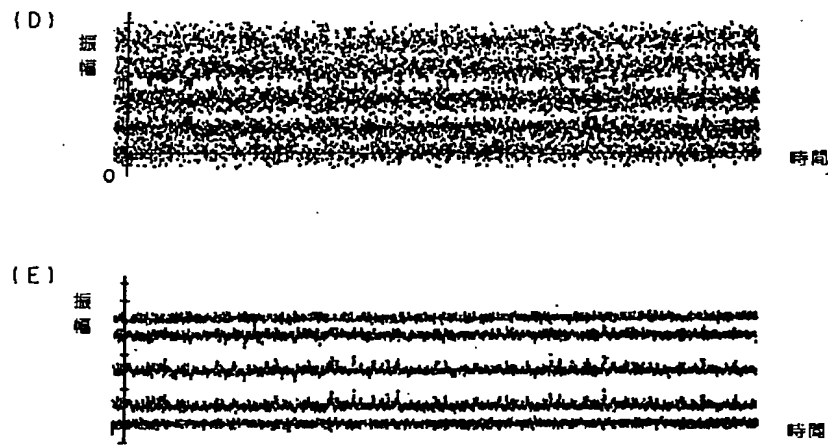
(B)

Graph (B) shows three parallel horizontal lines at different levels over time. The vertical axis is labeled '電位' (Potential) and the horizontal axis is labeled '時間' (Time). The lines are horizontal and parallel, indicating constant potential levels over time.

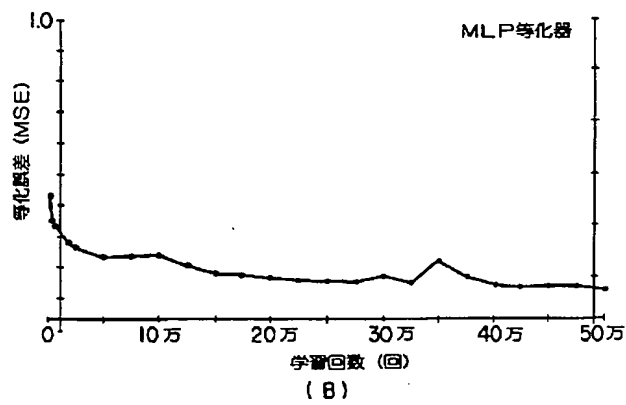
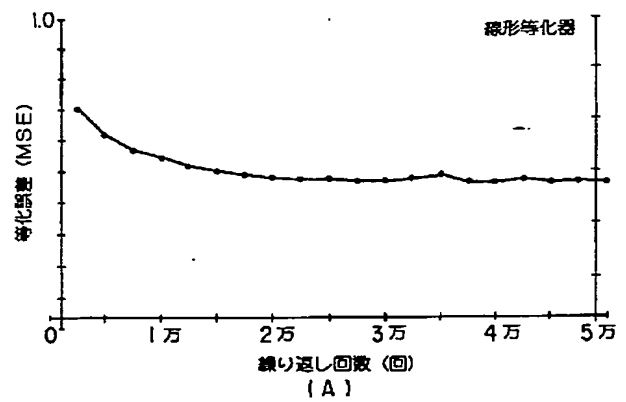
(C)

Graph (C) shows a bell-shaped curve with two peaks labeled 1 and 2 over time. The vertical axis is labeled '電位' (Potential) and the horizontal axis is labeled '時間' (Time). The curve starts at 0, rises to a peak labeled 2, then falls to a peak labeled 1, and finally falls back to 0. The peaks are labeled 1 and 2, and the curve is symmetric.

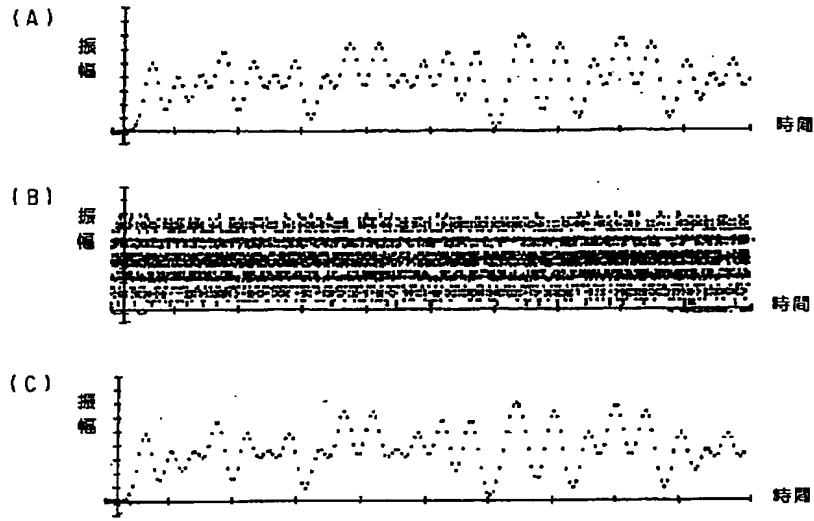
【図7】



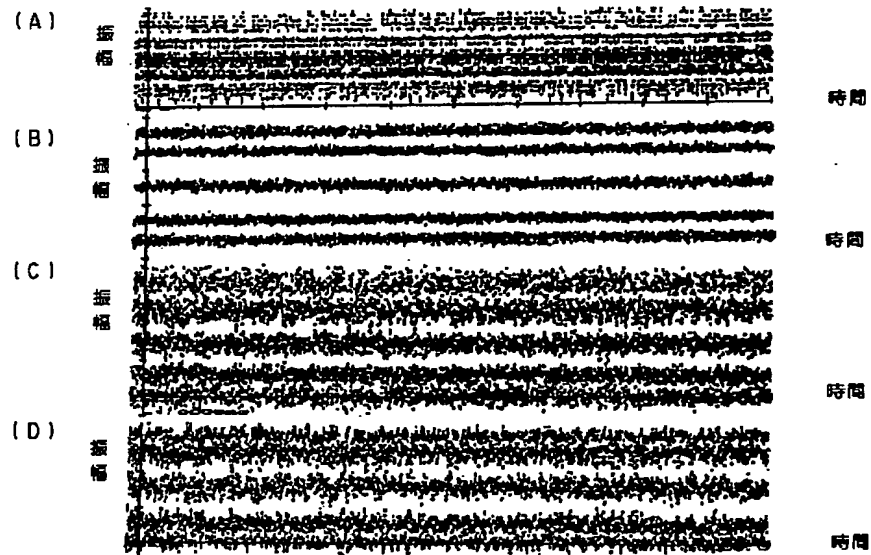
【図8】



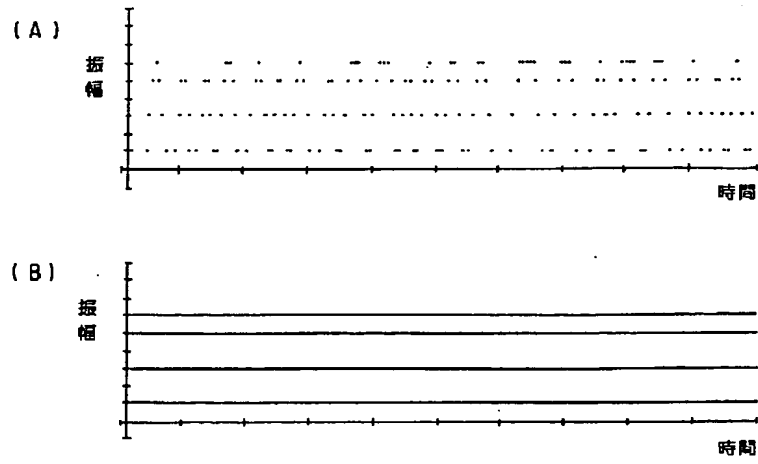
【図9】



【図10】



【図11】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.